

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number : 2001-093119

(43) Date of publication of application : 06.04.2001

---

(51) Int. Cl.

G11B 5/39

H01F 10/32

---

(21) Application number : 11-271282 (71) Applicant : HITACHI LTD  
AGENCY OF IND SCIENCE  
& TECHNOL  
(22) Date of filing : 24.09.1999 (72) Inventor : SATO TOSHIHIKO  
YUASA SHINJI

---

(54) TUNNEL MAGNETO-RESISTIVE EFFECT TYPE MAGNETIC HEAD AND ITS  
MANUFACTURING METHOD

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To embody a high-sensitivity TMR element by optimizing the selection of an electronic state contributing to tunnel conduction.

SOLUTION: The joint surface of a ferromagnetic material layer 210 having a bcc structure and a tunnel barrier layer 310 is formed of the (211) face or (110) face of the ferromagnetic material layer 210. The tunnel barrier layer 310 is the alumina thin film formed by two steps; a step of forming an aluminum film below 10 &angst; on a metallic surface of a magnetic material by utilizing the nature of the alumina that the alumina wets well to the major metallic film surfaces and oxidizing the film by natural oxidation or oxygen radicals and a step of executing the alumina thin film formation in an oxygen atmosphere or oxygen radical atmosphere in succession thereto.

---

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 11.11.2003

[Date of sending the examiner's

[decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3695515

[Date of registration] 08.07.2005

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

---

## CLAIMS

---

[Claim(s)]

[Claim 1] It is the tunnel magneto-resistive effect component characterized by being the ferromagnetic with which said first magnetic layer has bcc structure in the tunnel magneto-resistive effect component which the first magnetic layer, a tunnel barrier layer, and the second magnetic layer equip with the multilayers by which the laminating was carried out to order, and the plane of composition of said first magnetic layer and said tunnel barrier layer being said the first field (211) or (110) field of a magnetic layer.

[Claim 2] It is the tunnel magneto-resistive effect component characterized by for said first magnetic layer being a ferromagnetic which has bcc structure, and the plane of composition of said first magnetic layer and said tunnel barrier layer being said the first field (211) or (110) field of a magnetic layer from the direction near a substrate on a substrate in a tunnel magneto-resistive effect component equipped with the multilayers by which the laminating was carried out in the sequence of a buffer layer, the first magnetic layer, a tunnel barrier layer, and the second magnetic layer.

[Claim 3] In a tunnel magneto-resistive effect component according to claim 2, the plane of composition of said first magnetic layer and said tunnel barrier layer is a field (211) of said first magnetic layer. As

said buffer layer The Ath page of the cobalt which has hcp structure, or a cobalt-chromium alloy, the field of the chromium which has bcc structure (211), The field (110) of the gold which has fcc structure, the field of a magnesium oxide (110), The tunnel magneto-resistive effect component characterized by using the field (11-20) of sapphire, the field (001) of the titanium chromium alloy which has bcc structure, or the multilayer structure that carried out the laminating, combining these more than a bilayer.

[Claim 4] In a tunnel magneto-resistive effect component according to claim 2, said first magnetic layer is a single crystal, and the plane of composition of said first magnetic layer and said tunnel barrier layer is a field (110) of the first magnetic layer. As said buffer layer The molybdenum (110) side which has bcc structure, the tungsten (110) side which has bcc structure, The tunnel magneto-resistive effect component characterized by using the tantalum (110) side which has bcc structure, the chromium (110) side which has bcc structure, or the multilayer structure which carried out the laminating, combining these more than a bilayer.

[Claim 5] It is the tunnel magneto-resistive effect component which said first magnetic layer is polycrystal in a tunnel magneto-resistive effect component according to claim 2, and the plane of composition of said first magnetic layer and said tunnel barrier layer is a field (110) of the first magnetic layer, and is characterized by using the field (0001) of the metal which has the metaled field (111) or the hcp structure which has fcc structure, or the multilayer structure which carried out the laminating, combining these more than a bilayer as said buffer layer.

[Claim 6] The tunnel magneto-resistive effect component characterized by the plane of composition of said first magnetic layer and said tunnel barrier layer being the crystal face which has the inclination of less than 10 degrees from said the first field (211) or (110) field of a magnetic layer in the tunnel magneto-resistive effect component of claim 1-5 given in any 1 term.

[Claim 7] The magnetic head characterized by having the tunnel magneto-resistive effect component of claim 1-6 given in any 1 term.

[Claim 8] In the manufacture approach of the magnetic head that the first magnetic layer, a tunnel barrier layer, and the second magnetic layer are equipped with the multilayers by which the laminating was carried out to order The aluminum film with a thickness of 10A or less is formed on the field (211) of said first magnetic layer, or (110) a field using the ferromagnetic which has bcc structure as said first magnetic layer. Oxidize by natural oxidation or the oxygen radical, and

said aluminum film is used as an aluminum oxide film. The manufacture approach of the magnetic head characterized by forming said tunnel barrier layer by forming an aluminum oxide film on said aluminum oxide film in an oxygen ambient atmosphere or an oxygen radical.

[Claim 9] Magnetic memory characterized by using the tunnel magneto-resistive effect component of claim 1-6 given in any 1 term as said tunnel magneto-resistive effect component in two or more tunnel magneto-resistive effect components arranged in the shape of a matrix, a means to impress a field to each tunnel magneto-resistive effect component alternatively, a means to detect alternatively resistance of each tunnel magneto-resistive effect component, and the included magnetic memory.

[Claim 10] Two or more tunnel magneto-resistive effect components which the first magnetic layer, a tunnel barrier layer, and the second magnetic layer become from the multilayers by which the laminating of each was carried out to order, In the manufacture approach of a means to impress a field to each tunnel magneto-resistive effect component alternatively, a means to detect alternatively resistance of each tunnel magneto-resistive effect component, and the included magnetic memory. The aluminum film with a thickness of 10A or less is formed on the field (211) of said first magnetic layer, or (110) a field using the ferromagnetic which has bcc structure as said first magnetic layer. Oxidize by natural oxidation or the oxygen radical, and said aluminum film is used as an aluminum oxide film. The manufacture approach of the magnetic memory characterized by forming said tunnel barrier layer by forming an aluminum oxide film on said aluminum oxide film in an oxygen ambient atmosphere or an oxygen radical.

---

#### DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the manufacture approach at a tunnel magneto-resistive effect component, the magnetic-head magnetism memory which used it, and a list.

[0002]

[Description of the Prior Art] S. Jagadeesh Moodera and Lisa R. Kinder, J. Appl. Phys. 79 volume (1996) No. 8, 4724 pages (reference 1) and J. C. Slonczewski, and 39 Physical Review B (1989) The TMR component is

proposed by No. 10 and 6995 pages (reference 2) as a magnetic sensor based on a tunnel magneto-resistive effect (TMR). In order that a TMR component may show a big magneto-resistive effect compared with the conventional magneto-resistive effect component (MR component), the application as the magnetic head for playback is expected.

[0003] A TMR component has the structure whose tunnel barrier layer 300 was pinched by the first magnetic layer 200 and second magnetic layer 100, as shown in drawing 1. Here, the first magnetic layer 200 is formed on the lead-wire layer 400 formed on the substrate 500, and is connected to an external electrical circuit. Moreover, the second magnetic layer 100 is also connected to an external electrical circuit. When it has the coercive force from which these two kinds of magnetic layers 100 and 200 differ, corresponding to change of an external magnetic field 800, the phenomenon of changing between the cases where the relation of the sense of magnetization of each magnetic layer 100, 200 is the case of being mutually parallel, and anti-parallel happens.

[0004] On the other hand, if bias voltage V is impressed among the two above-mentioned kinds of magnetic layers 100, 200, tunnel resistance R to which tunnel current I through the tunnel barrier layer (dielectric layer) 300 flows can define by  $R=V/I$ . Observation of the magnitude of this tunnel resistance R also changes tunnel resistance R by whether the sense of the magnetization between the above-mentioned magnetic layers 100, 200 is parallel or anti-parallel. It is the magnetic sensor based on the above-mentioned tunnel magneto-resistive effect which outputs change of tunnel resistance R of a TMR component which changes with external magnetic fields 800.

[0005]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] The magnitude of change of the above-mentioned tunnel resistance R is mostly determined by the value of the polarizability P1 of a magnetic layer 100, and the polarizability P2 of a magnetic layer 200 as shown in said reference 1. These "polarizability" is the amounts which were closely related to the magnitude of magnetization (rate of = spin polarization) of the matter, and the magnitude of magnetization has the value of a proper in the matter. The more the magnitude of "polarizability" is close to 1, the more change of bigger tunnel resistance R is obtained.

[0006] The value of "polarizability" can be calculated if the number of the electronic state which contributes to the tunnel conduction in a magnetic layer is got to know. That is, the difference of the number of the condition of a spin up and the number of the condition of a spin

down determines the "polarizability" in each magnetic layer among the electronic states which contribute to tunnel conduction. Although the difference of the number of the condition of a spin up and the number of the condition of a spin down poses a problem also in case it asks for magnetization of the metal magnetic substance, the difference of the electronic state which defines the value of the "polarizability" described here is the point of having taken out only the number of the electronic states which contribute to tunnel conduction among electronic states possible in the magnetic substance, and differs from the procedure which asks for general magnetization. When in other words considering only the electron contributed to tunnel conduction, the value of the "polarizability" stated the value of general magnetization and here is not necessarily in agreement.

[0007] In spite of using for this invention the magnetic-substance ingredient which has the same magnetization by optimizing selection of the electronic state which contributes to tunnel conduction, it aims at obtaining higher "polarizability" and obtaining the tunnel magneto-resistive effect component which can attain change of bigger tunnel resistance R. This invention aims also at offering the again more high sensitivity magnetic head and its manufacture approach, the magnetic memory whose R/W are nonvolatile and is possible for a high speed, and its manufacture approach.

[0008]

[Means for Solving the Problem] above-mentioned "electronic state which contributes to tunnel conduction" -- or [ what kind of condition ] -- \*\*\*\*\* -- it explains. Such an electronic state can be summarized as the electronic state which is an electronic state near (1) Fermi surface, and has a wave number vector perpendicular (that is, parallel to the thickness direction of the tunnel barrier) to (2) tunnel-junction side. In the reciprocal space corresponding to the magnetic substance which constitutes each magnetic layer, the electronic state corresponding to the energy near the Fermi energy among the electronic states which have a wave number vector almost parallel to a direction perpendicular to a tunnel junction side is "an electronic state which contributes to tunnel conduction."

[0009] The request of the above (2) is brought about by the wave number vector selectivity of the tunnel barrier. E. Wolf and "Principles of Electron Tunneling Spectroscopy" (Oxford University Press, Oxford, 1989), In the ideal dielectric tunnel barrier which consists of infinity flat surfaces using an alumina etc. as shown in p.23. (reference 3) When the wave number vector of the tunnel electron described by the plane wave is

parallel to the direction of a normal of the tunnel barrier, if the penetration probability is the highest and a wave number vector comes to have a component perpendicular to the direction of a normal of the tunnel barrier, penetration probability will decrease rapidly. Barrier height's assumption of 10A [ in thickness of 2eV and the tunnel barrier ] and Fermi level 5eV calculates slightly the include angle which the direction of a normal in case the penetration probability falls to 1/e (e: bottom of a natural logarithm), and a wave number vector make with about 8 times. That is, the wave number vector of the tunneled electron has gathered very well. From such a fact, it can be said that the tunnel barrier to which surface smoothness was fully secured is an efficient wave number vector selecting arrangement. In other words, it can be said that the electronic state of the electron taken out from the magnetic layer by the tunnel is only an electronic state which was stretched around gamma point in reciprocal space and which is included to the field of a very small solid angle. It is thought that the property of the tunnel electron obtained from the electronic state group which has the wave number vector to which the direction was extremely equal is very sensitive to the anisotropy of reciprocal space, i.e., crystalline anisotropy. Such a description can be guessed also from the experiment of magnetic Compton scattering using a circular polarization of light X-ray shown in Yoshikazu Tanaka and Nobuhiko Sakai, Yasunori Kubo, and, Hiroshi Kawata, Physical Review Letters, Vol. 70, No. 10, 1993, and pp. 1537-1540 (reference 4). In this experiment, direct measurement of the polarizability of the electron taken out from the iron front face is carried out by the circular polarization of light X-ray, and according to that result, the polarizability of the electron emitted in the direction of gamma-N shows that it has a big value compared with the polarizability of the direction of gamma-H.

[0010] This invention uses the point of having an anisotropy with the remarkable polarizability of a magnetic-substance crystal which was described above. That is, field bearing which shows change of larger tunnel magnetic reluctance was searched using the wave number vector selectivity of the tunnel barrier. Consequently, in iron and an iron alloy, it was found out that the directions which have large polarizability are a field (211) and a field (110).

[0011] Drawing 2 is the cross section showing the example of a configuration of the TMR component which enables enhancement of the tunnel magnetic-reluctance change by this invention. In drawing 2, the laminated structure of the first magnetic layer 210, the tunnel barrier

layer 310, and the second magnetic layer 110 constitutes the TMR component. However, the first magnetic layer 210 is formed on the buffer layer 250 which consists of the above further at least, and is the crystal thin film which grew along with the specific crystal orientation determined by the class of ingredient of this buffer layer 250, and its crystal orientation. Therefore, the specific crystal face of a magnetic layer 210 forms the plane of composition with the tunnel barrier layer 310. Here, although only the electron of an electronic state with a wave number vector perpendicular to the above-mentioned plane of composition can tunnel from a magnetic layer 210 to a magnetic layer 110 alternatively by the wave number vector selectivity of the tunnel barrier, such an electronic state is the electronic state which has a wave number vector perpendicular to the crystal face which appeared in the plane of composition of a magnetic layer 210 in coincidence. That is, only the electron of the electronic state of a specific field will be chosen among the electronic states expressed with the lattice point in the reciprocal space of the crystal ingredient which constitutes a magnetic layer 210 by which crystal face is chosen as the plane of composition of a magnetic layer 210.

[0012] The above-mentioned specific crystal orientation changes with matter which constitutes a magnetic layer 210, the direction which optimizes polarizability is known, and if it is the magnetic substance which the direction is chosen and can be grown up in a magnetic layer, this can be used for it as a magnetic layer 210. However, the ferromagnetic which has bcc structure alone is only iron. Moreover, the alloy of iron, such as iron-cobalt, iron-nickel, iron-chromium, an iron-rhodium, iron-platinum, iron-palladium, iron-iridium, and iron-vanadium, also has bcc structure, and it is a ferromagnetic. So, in this invention, these matter groups are set as the object.

[0013] In the process in which this invention is obtained, the TMR component was produced using the magnetic layer 210 which has different field bearing using the above-mentioned matter group, tunnel magnetic-reluctance change was observed, and the direction which optimizes polarizability was searched. Consequently, what showed the tunnel magnetic-reluctance change with the biggest TMR component using a field (211), and showed a tunnel magnetic-reluctance change big next turned into a thing using a field (110), and although the field (211) was used for the value, it became about 80%. With the TMR component using other fields, it became 25 or less % at the time of using a field (211). Although effective field bearing is a field (211) and was a little inferior from these results, it became clear that a field (110) is also

effective.

[0014] In addition, the crystal orientation of a buffer layer 250 is decided by crystal orientation of the lower layer lead-wire layer 410, and the crystal orientation of the lead-wire layer 410 is decided by the class of ingredient of the substrate 510 of further a lower layer, and its crystal orientation. It will be said that in other words the class of ingredient of a buffer layer 250, the lead-wire layer 410, and a substrate 510 and the combination of crystal orientation control the crystal orientation of a magnetic layer 210. By the way, in order for the tunnel barrier layer 310 to serve as a leading wave number vector selecting arrangement, surface smoothness with the very high plane of composition with a magnetic layer 210 and a magnetic layer 110 is required. In order to obtain high surface smoothness, in this invention, the tunnel barrier layer 310 was formed by the approach of calling the "two-step oxidizing method."

[0015] The comparatively reliable tunnel barrier has been produced with the oxide film of aluminum as shown in the conventional techniques, such as reference 1 and H. Tsuge and T. Mitsuzuka, Applied Physics Letters, Vol. 71, No. 22, 1997, and pp. 3296-3298 (reference 5). Although this invention also uses an aluminum oxide film as a tunnel barrier layer, the formation approach differs from a well-known approach conventionally. It is known that aluminum will get wet well on the front face of main magnetic-substance metals, such as iron, cobalt, nickel, and these alloys. Drawing 3 - drawing 6 chose iron (Fe) as a magnetic layer 211, and have illustrated the situation which forms an aluminum oxide film (alumina) in the front face of the (001) field. In order to make an understanding easy, in drawing 6, the same number was given to a part for the same structured division from drawing 3.

[0016] Drawing 3 (a) shows the situation which formed the aluminum thin film 320 with a thickness of 10A or less by vacuum evaporationo on the magnetic layer 211 (iron field (001)) using ultra-high-vacuum equipment. When the thickness of aluminum is sufficiently thin (10A or less), aluminum covers Fe (001) side with the high wettability of aluminum precisely, and the aluminum thin film 320 which has a field (001) is formed reflecting the crystal face of Fe. This fact was checked by RHEED (reflective high energy electron diffraction) pattern observation on the front face of aluminum after vacuum evaporationo, and it was shown that the very flat interface was acquired between the aluminum thin film 320 and the iron field (001). Then, when oxygen gas was introduced in ultra-high-vacuum equipment, the above-mentioned RHEED pattern changed to the pattern in which formation of an amorphous layer is shown. Drawing 3 (b)

As this showed, the alumina layer 330 with very high surface smoothness is formed, and it shows that the interface of a good tunnel barrier layer and Fe (001) side was acquired. In addition, the thickness changes from 10A or less to 13A or less with oxidation of aluminum.

[0017] On the other hand, as shown in drawing 4 (a), when aluminum was vapor-deposited more thickly (10A or more), in addition to the field (001) of aluminum, the so-called faceting which produces a field (111) happened, and small irregularity arose in the front face of aluminum 321. This fact was checked by change of a RHEED pattern. Even if it introduced oxygen gas in ultra-high-vacuum equipment, the RHEED pattern did not turn into a pattern in which a perfect amorphous condition is shown, but as this irregularity remains and was shown in drawing 4 (b), the structure where the oxidation remainder of aluminum was wrapped in was formed and the alumina layer 331 accompanied by irregularity was formed. In this situation, the possibility of a tunnel of the wave number vector of not only the wave number vector of a direction (001) but a direction (111) will be added, and wave number vector selectivity will become weaker. Therefore, production of the tunnel barrier which had sufficient surface smoothness which has the thickness of 13A or more by oxidizing the aluminum film simply is difficult.

[0018] Forming the thickness of the tunnel barrier in 13A or more is the demand which cannot be disregarded from a viewpoint of property control of a TMR component. Therefore, the approach as shown in drawing 5 was tried. Drawing 5 (a) and (b) are the approaches shown in drawing 3, and show the process which forms the alumina layer 330 with a thickness of 13A or less. Next, after removing the oxygen which exhausted ultra-high-vacuum equipment again and was introduced for aluminum oxidation, again, aluminum is vapor-deposited by the thickness of 10A or less, and the situation in which the aluminum layer 322 was formed is typically shown in drawing 5 (c). In this case, although faceting shown in drawing 4 was not produced, since \*\*\*\* on the front face of an alumina of aluminum was inadequate, the grain of aluminum was generated and the aluminum film 322 more near a polycrystal thin film was formed. Then, although the alumina layer 332 was formed by oxidation by oxygen installation, the degrees of oxidation differed along the grain boundary, the existence of a pinhole and the heterogeneity of tunnel barrier height resulting from a grain boundary were \*\*\*\*\* (ed), and a good tunnel barrier property was not acquired from the measurement using STM/AFM etc.

[0019] So, in this invention, the "two-step oxidation style" as shown in drawing 6 was developed. Drawing 6 (a) and (b) show the process which forms the alumina layer 330 with a thickness of 13A or less like drawing

3 . Next, as shown in drawing 6 (c), when fixed oxygen tension was maintained without exhausting ultra-high-vacuum equipment and aluminum was vapor-deposited, as shown in a substrate at drawing 6 (c), the alumina layer 333 was formed. By this approach of forming the alumina layer 333 which is the matter same on the alumina layer 330, generating of the grain boundary resulting from wettability incompleteness was suppressed, it was very homogeneous and the tunnel barrier layer excellent in surface smoothness was obtained. According to this approach, the tunnel barrier property good to 10 to 30A thickness was observed, with homogeneity and surface smoothness maintained. The upper limit of theoretic thickness does not exist in this approach.

[0020] By the way, even if it excludes drawing 6 (a) and the process of (b), it places Fe (001) side of the front face of a magnetic layer 211 into an oxygen ambient atmosphere and it performs alumina stratification like drawing 6 (c), a good tunnel barrier layer is not obtained. It is because the wettability of an alumina and Fe (001) side is bad, so grain formation arises. Therefore, it is indispensable to form a thin (13A or less) alumina layer 330 like drawing 6 (b) beforehand.

[0021] As explanation of drawing 3 also described, when it was aluminum thickness 10A or less, to almost all magnetic layers, it did not call at the class or field bearing, but the always good alumina layer 330 has been formed. Therefore, the approach by two-step oxidization is the tunnel barrier formation approach the optimal for this invention, and indispensable which picks out the electron which has the wave number vector of arbitration from the matter of arbitration.

[0022] For example, in the approach of drawing 4 , if the front face which carries out lattice matching to the field (111) of aluminum is used as a magnetic layer 211, aluminum will not form a field (001) but will form a field from the beginning (111). In this case, faceting does not happen but the flat tunnel barrier is obtained. However, by this approach, since the crystal orientation and the class of magnetic layer 211 are limited and the anisotropy of arbitration cannot be chosen, it cannot become a means to realize this invention. In other words, it is a means with an above-mentioned two-step oxidation style indispensable to implementation of this invention which is going to take out the tunnel electron which has the wave number vector of the direction of arbitration using the selection system of a wave number vector.

[0023] In addition, in the two-step oxidation style explained above, although the natural oxidation by the oxygen introduced into ultra-high-vacuum equipment performed oxidation of aluminum, when oxidized according to the ambient atmosphere containing the oxygen radical

generated by UV ozone and the oxygen plasma in this, the high tunnel barrier layer of barrier height was able to be formed more. By this, change of tunnel magnetic reluctance increased to about 2 times in the case of being based on natural oxidation. It can also be said that it is the approach of forming the dielectric tunnel barrier of the ultra-thin film by having removed irregularity on atomic dimension level to coincidence although the two-step oxidizing method described here is an approach of securing surface smoothness. This point is especially effective to make small the value of the tunnel resistance of a TMR component itself. Moreover, it is useful also as an approach of being the range covering 8 figures and controlling the value of tunnel resistance with a sufficient precision.

[0024] When the above is summarized, it is the alumina thin film forming method aluminum serves as a "two-step oxidation style" from the second stage story which performs alumina thin film formation in the first stage story which uses the property to get wet well on main metal membrane front faces, forms the aluminum film 10A or less in a magnetic-substance surface of metal, and oxidizes this by natural oxidation or the oxygen radical, the oxygen ambient atmosphere following this, or an oxygen radical.

[0025] As stated above, in the tunnel magneto-resistive effect component which the tunnel magneto-resistive effect component by this invention equips with the multilayers by which the laminating of the first magnetic layer, a tunnel barrier layer, and the second magnetic layer was carried out to order, the first magnetic layer is a ferromagnetic which has bcc structure, and it is characterized by the plane of composition of the first magnetic layer and a tunnel barrier layer being the first field (211) or (110) field of a magnetic layer.

[0026] As a ferromagnetic which has bcc structure, an iron and iron-cobalt alloy, iron-nickel, iron-chromium, iron-rhodium, iron-platinum, iron-palladium, iron-iridium, and iron-vanadium alloy etc. can be used. Moreover, the second magnetic layer can be used as iron, nickel, cobalt, or these alloys. In the tunnel magneto-resistive effect component to which the tunnel magneto-resistive effect component by this invention is equipped with the multilayers by which the laminating was carried out in the sequence of a buffer layer, the first magnetic layer, a tunnel barrier layer, and the second magnetic layer from the direction near a substrate on a substrate again The first magnetic layer is a ferromagnetic which has bcc structure, and it is characterized by the plane of composition of the first magnetic layer and said tunnel barrier layer being the first field (211) or (110) field of a magnetic layer.

[0027] When the plane of composition of the first magnetic layer and a tunnel barrier layer is a field (211) of the first magnetic layer, as a buffer layer The Ath page of the cobalt which has hcp structure, or a cobalt-chromium alloy, the field of the chromium which has bcc structure (211), The field (110) of the gold which has fcc structure, the field (110) of a magnesium oxide, the field (11-20) of sapphire, the field (001) of the titanium chromium alloy which has bcc structure, or the multilayer structure that carried out the laminating, combining these more than a bilayer is suitable.

[0028] The first magnetic layer is a single crystal, and when the plane of composition of the first magnetic layer and a tunnel barrier layer is a field (110) of the first magnetic layer, as a buffer layer, the molybdenum (110) side which has bcc structure, the tungsten (110) side which has bcc structure, the tantalum (110) side which has bcc structure, the chromium (110) side which has bcc structure, or the multilayer structure which carried out the laminating, combining these more than a bilayer is suitable.

[0029] The first magnetic layer is polycrystal, and when the plane of composition of the first magnetic layer and a tunnel barrier layer is a field (110) of the first magnetic layer, the field (0001) of the metal which has the metaled field (111) or the hcp structure which has fcc structure as a buffer layer, or the multilayer structure which carried out the laminating, combining these more than a bilayer is suitable. The plane of composition of the first magnetic layer and a tunnel barrier layer may be the crystal face which has the inclination of less than 10 degrees from the first field (211) or (110) field of a magnetic layer.

[0030] The tunnel magneto-resistive effect component by this invention shall have the multilayer structure which inserted the amorphous thin film layer which consists of at least one kind of silicon oxide, an aluminum oxide film, or other metal oxide films between a buffer layer and a semi-conductor substrate, using a semi-conductor substrate as a substrate. As the term of the conventional technique described, it is indispensable to the manifestation of a tunnel magneto-resistive effect that a difference is in the coercive force of the first magnetic layer and the second magnetic layer. Therefore, if the coercive force of each magnetic layer is controlled independently and coercive force of magnitude required for each is not realized, an effective tunnel magneto-resistive effect component is not obtained. Usually, although the difference of coercive force required of choosing the ingredient of the magnetic substance is realized, when an effective coercive force difference is not acquired by selection of each magnetic-substance

ingredient, there is an approach which is described below. Namely, what is necessary is just to use the magnetic substance which has coercive force higher than the first magnetic layer as a buffer layer to give high coercive force by the first magnetic layer. Moreover, what is necessary is just to carry out the laminating of the ferromagnetic layer which has higher coercive force on the second magnetic layer (namely, on the second [ of the opposite side of a tunnel barrier layer ] magnetic-substance stratification plane), or the antiferromagnetic substance layer to give high coercive force by the second magnetic layer.

[0031] If the tunnel magneto-resistive effect component by this invention is used for the magnetic head, it is suitable. If the tunnel magneto-resistive effect component by this invention is used as an element of a means to impress a field to two or more tunnel magneto-resistive effect components arranged in the shape of a matrix, and each tunnel magneto-resistive effect component alternatively again, a means to detect alternatively resistance of each tunnel magneto-resistive effect component, and the included magnetic memory, it is suitable.

[0032] In the manufacture approach of the magnetic head that the manufacture approach of the magnetic head by this invention is equipped with the multilayers by which the laminating of the first magnetic layer, a tunnel barrier layer, and the second magnetic layer was carried out to order. The aluminum film with a thickness of 10A or less is formed on the field (211) of the first magnetic layer, or (110) a field using the ferromagnetic which has bcc structure as the first magnetic layer. It oxidizes by natural oxidation or the oxygen radical, said aluminum film is used as an aluminum oxide film, and it is characterized by forming a tunnel barrier layer by forming an aluminum oxide film on said aluminum oxide film in an oxygen ambient atmosphere or an oxygen radical.

[0033] Each the manufacture approach of the magnetic memory by this invention The first magnetic layer and tunnel barrier layer, Two or more tunnel magneto-resistive effect components which the second magnetic layer becomes from the multilayers by which the laminating was carried out to order, In the manufacture approach of a means to impress a field to each tunnel magneto-resistive effect component alternatively, a means to detect alternatively resistance of each tunnel magneto-resistive effect component, and the included magnetic memory The aluminum film with a thickness of 10A or less is formed on the field (211) of the first magnetic layer, or (110) a field using the ferromagnetic which has bcc structure as the first magnetic layer. It oxidizes by natural oxidation or the oxygen radical, said aluminum film is used as an aluminum oxide film, and it is characterized by forming a tunnel barrier

layer by forming an aluminum oxide film on said aluminum oxide film in an oxygen ambient atmosphere or an oxygen radical.

[0034]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, the gestalt of operation of this invention is explained with reference to a drawing.

[Example 1] Drawing 7 is the cross section showing an example of the TMR component by this invention. With the TMR component shown in drawing 7, only the electron of a wave number vector perpendicular to this field tunneled from the magnetic layer 215 which has Fe (211) side is used. The tunnel barrier layer 310 was formed by the above-mentioned two-step oxidation style, and formed the magnetic layer 115 on it with the CoFe thin film which has a field (110). The magnetic layer 215 which has Fe (211) side is used as a soft magnetic material layer, and the spin bulb consists of this example by using as a hard magnetism layer the magnetic layer 115 which has a CoFe (110) side. In addition, an expression called a soft magnetic material layer and a hard magnetism layer is a thing on a comparison.

[0035] The magnetic layer 215 which has Fe (211) side was made into 50A in thickness, and formed the field (211) chromium (Cr) layer 252 with a thickness of 100A and the Co layer 251 of the hcp structure which has the A<sub>1</sub> page with a thickness of 500A on the buffer layer which consists of a bilayer formed in this order. Moreover, the buffer layer which consists of these bilayers is formed on the golden (Au) layer which has the field (110) of 1000A thickness as a lead-wire layer 415. (110) A field Au layer (namely, lead-wire layer 415) can be formed by using the substrate 515 which has a MgO (110) side. This configuration is the example in which control of field bearing of a magnetic layer 215 was made with the combination of a buffer layer 251, 252, the lead-wire layer 415, and a substrate 515.

[0036] In addition, the Co layer 251 of hcp structure also has the role which determines the coercive force of the magnetic layer 215 which has Fe (211) side. If the gold of the field which is non-magnetic material (110) is used instead of the Co layer 251 of hcp structure, the magnetic layer 215 with Fe (211) side can be grown up, and, moreover, it will become the soft magnetic material layer which had the smaller coercive force of a proper in it. Moreover, the coercive force of the Fe magnetic layer 215 can also be more greatly set up by using the antiferromagnetic substance.

[0037] Using the TMR component configuration shown in drawing 7, the thickness of the tunnel barrier layer 310 produced many TMR components which have different thickness of 10 to 30A, and measured change of

tunnel resistance and the tunnel resistance to external magnetic field change. The result is shown in drawing 8. The axis of abscissa of drawing 8 is the thickness of the tunnel barrier layer in a TMR component, and an axis of ordinate carries out the opposite numeral of the value of tunnel resistance. The sunspot in drawing expresses the measurement data for every device. Measurement was performed at the room temperature. The direct current voltage of 0.05 volts was applied to each sample from which the thickness of a tunnel barrier layer differs, the current was measured, and it asked for tunnel resistance. Tunnel resistance increased exponentially to the increment in the thickness of a tunnel barrier layer, and about 6 figures of the value changed. Since it shows that electric conduction has produced the relation from which tunnel resistance changes exponentially to change of tunnel barrier thickness according to tunneling, the two-step oxidizing method is the proof of giving the good tunnel barrier layer in which a pinhole does not exist.

[0038] These TMR components indicated change of about 60% of tunnel magnetic reluctance to be the thickness almost independently among 30A from 10A of tunnel barrier thickness. Drawing 9 showed the measurement result. The axis of abscissa of drawing 9 is the thickness of the tunnel barrier layer in a TMR component, and an axis of ordinate expresses a tunnel magneto-resistive effect (MR) as percent. The sunspot in drawing expresses the measurement data for every device. Measurement was performed at the room temperature. The direct current voltage of 0.05 volts was applied to each sample from which the thickness of a tunnel barrier layer differs, the current was measured, tunnel resistance was observed, and it asked for tunnel magnetic reluctance. The result of having performed same measurement in drawing 9 about Fe (110) side and Fe (100) side was also shown. It is clear from these results that surely the field bearing dependency of a magnetic layer 215 exists, and tunnel magnetic reluctance shows change of 3 or more times according to the effectiveness.

[0039] The value of magnetic-reluctance change obtained by this invention is 3 times the magnitude of the value reported to said reference 1 which is not taking the anisotropy of a magnetic layer into consideration. This fact uses the anisotropy of a magnetic layer 215 positively, and can say it as what the usefulness of the approach by this invention which chooses only the tunnel electron of the direction which has large polarizability using the wave number vector selectivity of the tunnel barrier was proved [ what ].

[0040] Since the reference 1 of the controllability of a tunnel barrier

layer was inadequate, when it did not tend to obtain a colander if the resistance between terminals of a TMR component was with the value of kilohm extent, but it was going to lower resistance between terminals, by it, it caused a remarkable reduction of tunnel magnetic-reluctance change. Moreover, H.Tsuge and T.Mitsuzuka Applied Physics In Letters, Vol.71, No.22, 1997, and pp.3296-3298 (reference 6) Although the example of a TMR component with the small resistance between terminals was shown, the magnitude of tunnel magnetic-reluctance change obtained at this time was about [ of having the resistance between terminals small to the same extent produced by this invention / of the magnitude of tunnel magnetic-reluctance change of a TMR component ] 1/12. As mentioned above, at least 100ohms /of 100M omega /of resistance between terminals can be controlled by the TMR component by this invention in 2 mm from 2 mm, without spoiling the magnitude of tunnel magnetic-reluctance change. This description is important when operating by low resistance considers the application to the head for magnetic-recording playback or the magnetic memory of a TMR component demanded.

[0041] In addition, the same effectiveness as this example is acquired even if it constitutes a substrate 515, the lead-wire layer 415, and a buffer layer 251 using the sapphire of the 203rd pages of aluminum (11-20), Ag (110), Pt (110), MgO (110), etc. Furthermore, it is possible as an up magnetic layer 115 to use ferromagnetic alloys, such as the amorphous magnetic substance, such as a-Co80FeBSi, and FeNi.

[0042] [Example 2] As a magnetic layer 215 in an example 1, if Fe (110) side is used, the TMR component used as the second example which has a little small MR value compared with the TMR component obtained in the example 1 will be obtained. In this example, in order to acquire Fe (110) side, as shown in the cross section of drawing 2, using the Ath page of silicon on sapphire as a substrate 510, on it, the molybdenum layer which has the field (110) which served both as the buffer layer 250 and the lead-wire layer 410 was formed, and the magnetic layer 210 was formed for this as a direct buffer layer.

[0043] Like the example 1, the thickness of the tunnel barrier layer 310 produced many TMR components which have the thickness from which it differs from 10A to 30A, and measured change of tunnel resistance and the tunnel resistance to external magnetic field change. The result became the same with having been shown in drawing 8. It became clear to field bearing of a substrate to give the good tunnel barrier layer in which a pinhole does not exist regardless of the two-step oxidizing method.

[0044] The result of having measured the change of tunnel magnetic

reluctance between 30A like the example 1 from 10A of tunnel barrier thickness of this TMR component is shown in drawing 9. All over drawing, what was shown by (\*\*) at the rectangular head of void is as a result of [ for every device of the TMR component by this example ] measurement. Although it becomes the TMR value which is a little inferior to what used Fe (211) side with the TMR component by this example using Fe (110) side, the point which can produce a component now has sufficient usefulness depending on the application on silicon on sapphire.

[0045] [Example 3] Drawing 10 is the cross section showing other examples of the TMR component by this invention. The TMR component shown in drawing 10 forms the magnetic layer 215 which has Fe (211) side on the Co layer 251 of the hcp structure which has the A<sub>th</sub> page used as a buffer layer. Although this point is the same as the example 1 shown in drawing 7, it differs in that Si is used as a substrate 516. In this example, the SiO<sub>2</sub> thermal-oxidation membrane layer 416 was made on the Si (100) substrate 516, the TiCr (001) layer which served also as the role of lead wire was prepared on it, and it considered as the buffer layer 255, and has connected with the above-mentioned buffer layer 251. (001) A TiCr layer grows epitaxially, even if a substrate is on the amorphous SiO<sub>2</sub> thermal-oxidation membrane layer 416, and the growth side is growing up the magnetic layer 215 which has Fe (211) side in a convenient field. Since the combination of the CoFe (110) layer 115 which constitutes a TMR component, the magnetic layer 215 which has Fe (211) side, and the tunnel barrier layer 310 by the two-step oxidizing method was the same as the example 1, the operating characteristic of the produced TMR component was the same as the result of an example 1.

[0046] This example is what showed that it was possible to produce the TMR component by this invention on a silicon substrate, and paves the path for producing the head for magnetic-recording playback, magnetic random access memory (MRAM), etc. using the conventional silicon micro-processing process. Moreover, compared with dielectric substrates, such as MgO and sapphire, a good crystal can purchase a silicon substrate cheaply, and it is compared with these, and since thermal conductivity is large, the thermal load at the time of processing of a magnetic layer is reduced, or it has a merit, like control of the operating temperature of a TMR component becomes easy.

[0047] [Example 4] The head for magnetic-recording playback was produced using the TMR component of this invention stated in the example 3. The structure of the head for magnetic-recording playback is shown below. Drawing 11 is a perspective view at the time of cutting a part of record reproducing head. The part whose TMR component 51 was pinched in the

shielding layers 52 and 53 works as the reproducing head, and the parts of the lower magnetic pole 55 which sandwiches a coil 54, and the up magnetic pole 56 work as a recording head.

[0048] the TMR component which carried out SiO two-layer formation as a buffer layer, and stated continuously the sintered compact which uses aluminum 203 and TiC as a principal component to the front face in the example 3 in the spatter as a substrate 57 for sliders in drawing 11 -- molecule beam epitaxial growth (MBE) -- it produced by law. It was made for the thickness of each magnetic layer which used for the shielding layer and the record magnetic pole the nickel-20at%Fe alloy formed by the sputtering method to be the following. That is, the up-and-down shielding layers 52 and 53 used the alumina which formed 1 micrometer, the lower magnetic pole 55, and the up magnetic pole 56 by sputtering as gap material between 3 micrometers and each class. The thickness of a gap layer could be 0.4 micrometers between 0.2 micrometers and a record magnetic pole between the shielding layer and the magneto-resistive effect component. Furthermore, spacing of the reproducing head and a recording head was set to about 4 micrometers, and also formed this gap with the alumina. Cu of 3 micrometers of thickness was used for the coil 54. Since the sensibility of a TMR component improved by this invention, the sensibility as the magnetic head also improved, it was able to become possible to detect the magnetization condition of a smaller magnetic domain, and recording density was able to be improved by about 10 times as compared with the former.

[0049] [Example 5] The example which applied the TMR component by this invention to magnetic memory is explained using the production process Fig. of drawing 15 from drawing 12. From drawing 12, in each production process Fig. of drawing 15, (a) is a mimetic diagram and (b) is the cross section. The magnetic memory of this example has IEEE Transaction on Magnetics, vol. 33, No. 6, November, 1997, and structure similar to p. 4498-4512 (reference 7).

[0050] First, as shown in drawing 12, the laminating of an insulating layer 416, the word line layer 420, the layer insulation layer 417, a buffer layer 255, a buffer layer 251, the soft magnetism layer 216, the tunnel barrier layer 311, the hard magnetism layer 116, and the contact layer 421 is carried out one by one from the direction near a substrate on a silicon substrate 516. Next, as shown in drawing 13, according to a lithography process, the word line layer 420 and all the layers above it are etched, and a word line pattern is formed. Furthermore, according to the same lithography process, a buffer layer 255 and all the layers above it are etched, and X lead-wire pattern is formed.

[0051] Furthermore, as shown in drawing 14, using lithography and an etching process, a 216 or more soft magnetism layers layer is processed, and the memory cell part which stores each bit information is formed. Next, as shown in drawing 15, the layer insulation layer 418 is formed, the above-mentioned memory cell part is embedded in an insulating layer, and a contact hole is formed in the upper part. On this layer insulation layer 418, the Y lead wire 422 which has electric connection in the above-mentioned contact hole \*\*\*\*\* and the contact layer 421 is formed. Next, the further layer insulation layer 419 is formed and a bit line 423 is formed on it. Each of a word line, a bit line, X lead wire, and Y lead wire is combined with a circumference circuit, and random access memory is formed.

[0052] As for the memory by this invention, the drive method differs from the point using the TMR component by this invention with the magnetic memory of reference 7 into the part of a memory cell. In the above-mentioned memory cell, three layers, the soft magnetism layer 216, the tunnel barrier layer 311, and the hard magnetism layer 116, form the spin bulb. 1-bit information is held according to the magnetization condition of the soft magnetism layer 216.

[0053] In case the information on the address (1 1) is determined, a bias current is generated in a word line W1, and a sink and the sum of the field which passes a current to a bit line B1 further at coincidence, and both generate make only the perimeter of a memory cell of the address (1 1) generate a larger field than the switching field of the soft magnetism layer 215 in a memory cell in drawing 15. 1 of the information written in the memory cell of the address (1 1) or 0 is determined by the sense of this field. Since the switching field is sufficiently larger than the switching field of the soft magnetism layer 215 and magnetization of the hard magnetism layer 115 is set up at the time of write-in actuation, it does not change. Moreover, only by the field which the bias current of a word line W1 generates, since magnetization of the soft magnetism layer 215 does not change, the magnetization condition of other memory cells on a word line W1 is not changed. Read-out of information is performed by detecting the magnetic reluctance between X lead wire and Y lead wire. That is, if resistance between the X lead wire X1 and the Y lead wire Y1 is measured, resistance of the memory cell of the address (1 1) will be detected, and the information on the address (1 1) will be acquired.

[0054] In this example, as an insulating layer 416, as the silicon thermal oxidation film and a word line layer 420 Niobium (Nb), As the silicon oxide formed by the spatter as a layer insulation layer 417, and

a buffer layer 255 (001), TiCr, Fe which has a field as a buffer layer 251 as the Ath page of hep structure Co, and a soft magnetism layer 216 (211), Niobium (Nb) was used as CoFe and a contact layer 421 as an alumina tunnel oxide film with a thickness of 12A produced with the two-step oxidation style as a tunnel barrier layer 311, and a hard magnetism layer 116. In addition, in order to control the coercive force of the soft magnetism layer 215, it is effective to use the CoFe alloy which has a different presentation. Since the magnitude of resistance change of a TMR component improved by this invention, information can be stored now in a soft magnetism layer, and the detection sensitivity of a memory cell magnetization condition improved, consequently non-volatile magnetism memory more nearly high-speed about 5 times than before was obtained.

[0055]

[Effect of the Invention] According to this invention, paying attention to the point with an anisotropy remarkable in the polarizability of a magnetic-substance crystal, only the tunnel electron of the direction where large polarizability is expected was chosen using the wave number vector selectivity of the tunnel barrier, and change of very large tunnel magnetic reluctance was realized. By this, 60% of values of tunnel magnetic-reluctance change was realized, and the sensibility of the magnetic sensor using a TMR component improved from 3 times of the conventional technique to 10 or more times. Consequently, the head for magnetic-recording playback of high sensitivity is obtained more, and magnetic recording density can be improved to about 10 times over the past. Moreover, if this TMR component is used, the magnetic memory whose read-out rate is 5 or more times over the past can be obtained.

---

#### DESCRIPTION OF DRAWINGS

---

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] Drawing showing the configuration of a tunnel magneto-resistive effect component.

[Drawing 2] The cross section showing the example of a configuration of the tunnel magneto-resistive effect component by this invention.

[Drawing 3] Drawing showing the method of forming the alumina ultra-thin film for having the thickness of 13A or less.

[Drawing 4] Drawing having shown that faceting arose at the time of

formation of the alumina ultra-thin film which has the thickness of 13A or more.

[Drawing 5] Drawing having shown that degradation of the alumina film took place with the crystal grain produced at the time of formation of the alumina ultra-thin film which has the thickness of 13A or more.

[Drawing 6] Drawing having shown the method of forming the alumina ultra-thin film for having the thickness of 13A or more using a two-step oxidation style.

[Drawing 7] The cross section showing an example of the TMR component by this invention.

[Drawing 8] Drawing showing the tunnel resistance of the TMR component using Fe (211) side, and the relation of tunnel barrier thickness.

[Drawing 9] Drawing showing the tunnel magnetic reluctance of a TMR component which has different field bearing, and the relation of tunnel barrier thickness.

[Drawing 10] The cross section showing other examples of the TMR component by this invention.

[Drawing 11] Drawing showing the head for magnetic-recording playback using the TMR component by this invention.

[Drawing 12] The production process Fig. of magnetic memory using the TMR component by this invention.

[Drawing 13] The production process Fig. of magnetic memory using the TMR component by this invention.

[Drawing 14] The production process Fig. of magnetic memory using the TMR component by this invention.

[Drawing 15] The production process Fig. of magnetic memory using the TMR component by this invention.

#### [Description of Notations]

51 [ -- Coil, ] -- A TMR component, 52 -- A shielding layer, 53 -- A shielding layer, 54 55 [ -- The second magnetic layer, ] -- A lower magnetic pole, 56 -- An up magnetic pole, 57 -- A substrate, 100 110 -- The second magnetic layer, 116 -- A hard magnetism layer, 200 -- The first magnetic layer, 210 [ -- Soft magnetism layer, ] -- The first magnetic layer, 211 -- A magnetic layer, 215 -- A magnetic layer, 216 251 [ -- Lead-wire layer, ] -- A buffer layer, 252 -- A buffer layer, 250 -- A buffer layer, 255 300 -- A tunnel barrier layer, 310 -- A tunnel barrier layer, 311 -- Tunnel barrier layer, 320 -- An aluminum thin film, 322 -- An aluminum layer, 330 -- Alumina layer, 331 [ -- Lead-wire layer, ] -- An alumina layer, 333 -- An alumina layer, 400 -- A lead-wire layer, 410 415 -- A lead-wire layer, 416 -- A SiO<sub>2</sub> thermal-oxidation membrane layer, 417 -- Layer insulation layer, 418 [ -- A

contact layer, 422 / -- Y lead wire, 423 / -- A bit line, 500 / -- A substrate, 510 / -- A substrate, 515 / -- A substrate, 516 / -- A substrate, 800 / -- External magnetic field ] -- A layer insulation layer, 419 -- A layer insulation layer, 420 -- A word line layer, 421

---

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-93119

(P2001-93119A)

(43) 公開日 平成13年4月6日 (2001.4.6)

(51) Int.Cl.  
G 1 1 B 5/39  
H 0 1 F 10/32

識別記号

F I  
G 1 1 B 5/39  
H 0 1 F 10/32

テーブル (参考)  
5 D 0 3 4  
5 E 0 4 9

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号

特願平11-271282

(22) 出願日

平成11年9月24日 (1999.9.24)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田蔵河町四丁目6番地

(74) 上記1名の代理人 100091096

弁理士 平木 祐輔

(71) 出願人 000001144

工業技術院長

東京都千代田区麹町1丁目3番1号

(74) 上記1名の復代理人 100091096

弁理士 平木 祐輔 (外1名)

(72) 発明者 佐藤 俊彦

東京都国分寺市東落ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

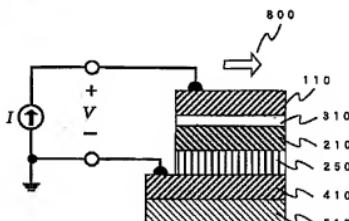
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 トンネル磁気抵抗効果型磁気ヘッド及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 トンネル伝導に寄与する電子状態の選択を最適化することによって高感度な TMR 素子を実現する。

【解決手段】 bcc構造を有する強磁性体層210とトンネルバリア層310との接合面を強磁性体層210の(211)面又は(110)面とする。トンネルバリア層310は、アルミが主要な金属膜表面によく濡れる性質を利用して、10 Å以下のアルミニウム膜を磁性体金属表面に形成してこれを自然酸化又は酸素ラジカルにより酸化する段階と、これに続く酸素雰囲気中又は酸素ラジカル雰囲気中でのアルミナ薄膜形成を行う段階の二段階で形成したアルミナ薄膜である。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 第一の磁性体層と、トンネルバリア層と、第二の磁性体層とが順に積層された多層膜を備えるトンネル磁気抵抗効果素子において、前記第一の磁性体層はb c c構造を有する強磁性体であり、前記第一の磁性体層と前記トンネルバリア層との接合面が前記第一の磁性体層の(2 1 1)面又は(1 1 0)面であることを特徴とするトンネル磁気抵抗効果素子。

【請求項2】 基板上に、基板に近い方から、バッファ層、第一の磁性体層、トンネルバリア層、第二の磁性体層の順序で積層された多層膜を備えるトンネル磁気抵抗効果素子において、前記第一の磁性体層はb c c構造を有する強磁性体であり、前記第一の磁性体層と前記トンネルバリア層との接合面が前記第一の磁性体層の(2 1 1)面又は(1 1 0)面であることを特徴とするトンネル磁気抵抗効果素子。

【請求項3】 請求項2記載のトンネル磁気抵抗効果素子において、前記第一の磁性体層と前記トンネルバリア層との接合面が前記第一の磁性体層の(2 1 1)面であり、前記バッファ層として、h c p構造を有するコバルト又はコバルト-クロム合金のA面、b c c構造を有するクロムの(2 1 1)面、f c c構造を有する金の(1 1 0)面、酸化マグネシウムの(1 1 0)面、サファイアの(1 1 - 2 0)面、又はb c c構造を有するチタンクロム合金の(0 0 1)面、あるいはこれらを二層以上組み合わせて積層した多層構造を用いることを特徴とするトンネル磁気抵抗効果素子。

【請求項4】 請求項2記載のトンネル磁気抵抗効果素子において、前記第一の磁性体層は半結晶であって前記第一の磁性体層と前記トンネルバリア層との接合面が第一の磁性体層の(1 1 0)面であり、前記バッファ層として、b c c構造を有するモリブデン(1 1 0)面、b c c構造を有するタングステン(1 1 0)面、b c c構造を有するタンタル(1 1 0)面、又はb c c構造を有するクロム(1 1 0)面、あるいはこれらを二層以上組み合わせて積層した多層構造を用いることを特徴とするトンネル磁気抵抗効果素子。

【請求項5】 請求項2記載のトンネル磁気抵抗効果素子において、前記第一の磁性体層は多結晶であって前記第一の磁性体層と前記トンネルバリア層との接合面が第一の磁性体層の(1 1 0)面であり、前記バッファ層として、f c c構造を有する金属の(0 0 0 1)面、あるいはこれらを二層以上組み合わせて積層した多層構造を用いることを特徴とするトンネル磁気抵抗効果素子。

【請求項6】 請求項1～5のいずれか1項記載のトンネル磁気抵抗効果素子において、前記第一の磁性体層と前記トンネルバリア層との接合面が前記第一の磁性体層

の(2 1 1)面又は(1 1 0)面から10度以内の傾きを有する結晶面であることを特徴とするトンネル磁気抵抗効果素子。

【請求項7】 請求項1～6のいずれか1項記載のトンネル磁気抵抗効果素子を有することを特徴とする磁気ヘッド。

【請求項8】 第一の磁性体層と、トンネルバリア層と、第二の磁性体層とが順に積層された多層膜を備える磁気ヘッドの製造方法において、

前記第一の磁性体層としてb c c構造を有する強磁性体を用い、前記第一の磁性体層の(2 1 1)面又は(1 1 0)面上に厚さ10Å以下のアルミニウム膜を形成し、前記アルミニウム膜を自然酸化又は酸素ラジカルにより酸化してアルミニウム酸化膜とし、酸素雰囲気中又は酸素ラジカル中で前記アルミニウム酸化膜の上にアルミニウム酸化膜を形成することによって前記トンネルバリア層を形成することを特徴とする磁気ヘッドの製造方法。

【請求項9】 マトリックス状に配列された複数のトンネル磁気抵抗効果素子と、各トンネル磁気抵抗効果素子に選択的に磁界を印加する手段と、各トンネル磁気抵抗効果素子の抵抗を選択的に検出する手段と含む磁性メモリにおいて、

前記トンネル磁気抵抗効果素子として請求項1～6のいずれか1項記載のトンネル磁気抵抗効果素子を用いたことを特徴とする磁性メモリ。

【請求項10】 各々が第一の磁性体層と、トンネルバリア層と、第二の磁性体層とが順に積層された多層膜からなる複数のトンネル磁気抵抗効果素子と、各トンネル磁気抵抗効果素子に選択的に磁界を印加する手段と、各トンネル磁気抵抗効果素子の抵抗を選択的に検出する手段と含む磁性メモリの製造方法において、

前記第一の磁性体層としてb c c構造を有する強磁性体を用い、前記第一の磁性体層の(2 1 1)面又は(1 1 0)面上に厚さ10Å以下のアルミニウム膜を形成し、前記アルミニウム膜を自然酸化又は酸素ラジカルにより酸化してアルミニウム酸化膜とし、酸素雰囲気中又は酸素ラジカル中で前記アルミニウム酸化膜の上にアルミニウム酸化膜を形成することによって前記トンネルバリア層を形成することを特徴とする磁性メモリの製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】 本発明は、トンネル磁気抵抗効果素子、それを用いた磁気ヘッド磁性メモリ、並びにその製造方法に関する。

## 【0 0 0 2】

【従来の技術】 S. Jagadeesh Moodera and Lisa R. Kinter, J. Appl. Phys. 79巻(1996年), 8号, 4724ページ(文献1)、及びJ. C. Slonczewski, Physical Review B 39巻(1989年), 10号, 6995ページ(文献2)には、トンネル磁気抵抗効果(TMR)に基づく磁気センサー

として、TMR素子が提案されている。TMR素子は、従来の磁気抵抗効果素子（MR素子）に比べ大きな磁気抵抗効果を示すため、再生用磁気ヘッドとしての応用が期待されている。

【0003】TMR素子は、図1に示すように、トンネルバリア層300を第一の磁性体層200及び第二の磁性体層100で挟んだ構造を持つ。ここで、第一の磁性体層200は、基板500の上に形成されたリード線層400の上に形成され、外部電気回路に接続される。また、第二の磁性体層100も外部電気回路に接続される。これら二種類の磁性体層100及び200が異なる保磁力を有する場合、外部磁界800の変化に対応して、各磁性体層100、200の磁化的向きの関係が、互いに平行である場合と反平行である場合との間を変化する現象が起こる。

【0004】一方、上記二種類の磁性体層100、200間にバイアス電圧Vを印加すると、トンネルバリア層（誘電体層）300を介したトンネル電流Iが流れ、トンネル抵抗Rが、 $R = V/I$ で定義できる。このトンネル抵抗Rの大きさを観測すると、上記磁性体層100、200間の磁化的向きが平行か反平行であるかによって、トンネル抵抗Rも変化する。外部磁界800によって変化するTMR素子のトンネル抵抗Rの変化を出力するものが、上記トンネル磁気抵抗効果に基づく磁気センサーである。

#### 【0005】

【発明が解決しようとする課題】上記トンネル抵抗Rの変化の大きさは、前記文献1に示されているように、磁性体層100の分極率P1と磁性体層200の分極率P2の値によって、ほぼ決定される。これらの「分極率」は、物質の磁化（＝スピントン極率）の大きさと密接に関係した量であり、磁化の大きさは物質に固有の値を持つ。「分極率」の大きさが1に近づければ近いほど、より大きなトンネル抵抗Rの変化が得られる。

【0006】「分極率」の値は、磁性体層内のトンネル伝導に寄与する電子状態の個数を知れば求めることが出来る。すなわち、トンネル伝導に寄与する電子状態の内、スピナップの状態の個数とスピンドラウの状態の個数の差が問題となるが、ここで述べている「分極率」の値を定義する電子状態の差は、磁性体内に可能な電子状態のうちトンネル伝導に寄与する電子状態の数のみを取り出している点で、一般的の磁化を求める手続きとは異なっている。言い換れば、トンネル伝導に寄与する電子のみを考える時、一般的の磁化的値とここで述べた「分極率」の値は必ずしも一致しない。

【0007】本発明は、トンネル伝導に寄与する電子状態の選択を最適化することによって、同じ磁化を有する

磁性体材料を使用するにも拘わらず、より高い「分極率」を得て、より大きなトンネル抵抗Rの変化を達成することができるトンネル磁気抵抗効果素子を得ることを目的とする。本発明は、また、より高感度な磁気ヘッド及びその製造方法、不揮発性で高速に読み書きのできる磁性メモリ及びその製造方法を提供することを目的とする。

#### 【0008】

【課題を解決するための手段】上述の「トンネル伝導に寄与する電子状態」とは如何なる状態かについて説明する。このような電子状態は、（1）フェルミ面付近の電子状態で、かつ、（2）トンネル接合面に垂直（すなわち、トンネルバリアの厚み方向に平行）な波数ベクトルを有する電子状態、と要約することが出来る。各磁性体層を構成する磁性体に対応した逆格子空間において、トンネル接合面に垂直な方向にほぼ平行な波数ベクトルを有する電子状態のうち、フェルミエネルギーに近いエネルギーに対応した電子状態が、「トンネル伝導に寄与する電子状態」である。

【0009】上記（2）の要請は、トンネルバリアの波数ベクトル選択によってもたらされるものである。E. Wolf, "Principles of Electron Tunneling Spectroscopy," (Oxford University Press, Oxford, 1989), p. 23. (文献3) に示されているように、アルミニウム等を用いた無限平面から構成される理想的な誘電体トンネルバリアにおいて、平面波で記述されるトンネル電子の波数ベクトルがトンネルバリアの法線方向に平行な時、その透過確率は最も高く、波数ベクトルがトンネルバリアの法線方向に垂直な成分を持つようになると透過確率は急激に減少する。バリア高さが2 eV、トンネルバリアの厚さ10 Å、フェルミレベル5 eVを仮定すると、その透過確率が $1/e$  ( $e$ : 自然対数の底) に落ちるときの法線方向と波数ベクトルのなす角度は、僅かに8度程度と計算される。すなわち、トンネルした電子の波数ベクトルは極めて良く揃っているのである。このような事実から、十分に平坦性が確保されたトンネルバリアは、高効率な波数ベクトル選択装置であると言つうことが出来る。言い換えれば、トンネルによって磁性体層から取り出された電子の電子状態は、逆格子空間における「点の周りに張られた、極めて小さい立体角の領域に含まれる電子状態のみである」といえる。極めて方向が揃った波数ベクトルを有する電子状態群から得られるトンネル電子の性質は、逆格子空間の異方性：すなわち、結晶の異方性に極めて敏感であると考えられる。このような特徴は、Yoshikazu Tanaka and Nobuhiko Sakai, Yasunori Kubo, and Hiroshi Kawata, Physical Review Letters, Vol. 70, No. 10, 1993, pp. 1537-1540 (文献4) に示された、円偏光X線を用いた磁気コンプトン散乱の実験からも推測できる。この実験では、円偏光X線によって鉄表面から取り出された電子の分極率が直接測定され

ており、その結果によると、「-N方向へ放出される電子の分極率は、「-H方向の分極率に比べて大きな値を有することを示している。

【0010】本発明は、以上に述べたような、磁性体結晶の分極率が顕著な異方性を有する点を利用したものである。すなわち、トンネルバリアの波数ベクトル選択性を利用して、より大きいトンネル磁気抵抗の変化を示す面方位を探査した。その結果、鉄及び鉄合金において、大きい分極率を有する方向は(211)面と(110)面であることが見出された。

【0011】図2は、本発明によるトンネル磁気抵抗変化の増強を可能にするTMR素子の構成例を示す断面模式図である。図2において、第一の磁性体層210、トンネルバリア層310及び第二の磁性体層110の積層構造がTMR素子を構成している。ただし、第一の磁性体層210は、少なくとも一層以上からなるバッファ層250の上に形成されており、このバッファ層250の材料の種類及びその結晶方位によって決められる特定の結晶方位に沿って成長した結晶薄膜である。そのため、磁性体層210の特定の結晶面が、トンネルバリア層310との接合面を形成している。ここで、トンネルバリアの波数ベクトル選択性により、上記接合面に垂直な波数ベクトルを持つ電子状態の電子のみが、選択的に磁性体層210から磁性体層110へトンネルする事が出来ることになるが、このような電子状態は、同時に、磁性体層210の接合面に現れた結晶面に垂直な波数ベクトルを持つ電子状態となっているのである。すなわち、磁性体層210の接合面にどの結晶面を選ぶかによって、磁性体層210を構成する結晶材料の逆格子空間内の格子点で表される電子状態のうち、特定の領域の電子状態の電子のみを選択していることになるのである。

【0012】上記特定の結晶方位は、磁性体層210を構成する物質によって異り、分極率を最適化する方向が既知であり、かつ、その方向を選んで磁性体層を成長することが可能である磁性体ならば、これを磁性体層210として用いることが出来る。しかし、単体でbcc構造を有する強磁性体は鉄のみである。また、鉄-コバルト、鉄ニッケル、鉄-クロム、鉄-ロジウム、鉄-白金、鉄-パラジウム、鉄-イリジウム、及び鉄-バナジウムなどの鉄の合金もbcc構造を有し、かつ、強磁性体である。そこで、本発明では、これらの物質群をその対象とする。

【0013】本発明を得る過程において、上記の物質群を用いた異なる面方位を有する磁性体層210を使ってTMR素子を作製し、トンネル磁気抵抗変化を観測して、分極率を最適化する方向を探査した。その結果、(211)面を用いるTMR素子が最も大きなトンネル磁気抵抗変化を示し、次に大きなトンネル磁気抵抗変化を示したものが(110)面を用いたものとなり、その値は、(211)面を用いたものの80パーセント程度

となった。その他の面を用いたTMR素子では、(211)面を用いた場合の25パーセント以下となった。これらの結果から、有効な面方位は(211)面であり、やや劣るが、(110)面も有効であることが判明した。

【0014】なお、バッファ層250の結晶方位は、その下層のリード線層410の結晶方位によって決まり、また、そのリード線層410の結晶方位は、さらに下層の基板510の材料の種類及びその結晶方位によって決まる。言い換れば、磁性体層210の結晶方位を制御するのは、バッファ層250、リード線層410、及び基板510の材料の種類及び結晶方位の組み合わせであると言うことになる。ところで、トンネルバリア層310が有力な波数ベクトル選択装置となるためには、磁性体層210及び磁性体層110との接合面は、極めて高い平坦性が要求される。高い平坦性を得るために、本発明では「二段階酸化法」と呼ぶ方法によりトンネルバリア層310の形成を行った。

【0015】文献1及びH. Tsuge and T. Mitsuzuka, Applied Physics Letters, Vol. 71, No. 22, 1997, pp. 3296-3298 (以下、文献5) 等の従来技術に示されているように、アルミニウムの酸化膜によって比較的信頼性の高いトンネルバリアが作製されてきた。本発明でもトンネルバリア層としてアルミニウム酸化膜を用いるが、その形成方法は、従来公知の方法とは異なる。アルミニウムは、鉄、コバルト、ニッケル、及びこれらの合金などの主要な磁性体金属の表面によく漏れることが知られている。図3～図6は、磁性体層211として鉄(Fe)を選び、その(001)面の表面にアルミニウム酸化膜(アルミナ)を形成する状況を例示している。理解を容易にするために、図3から図6において、同じ構造部分には同じ番号を付した。

【0016】図3(a)は、超高真空装置を用いて磁性体層211(鉄の(001)面)上に、蒸着によって10Å以下の厚さのアルミニウム薄膜320を形成した状況を示している。アルミニウムの厚さが十分薄い(10Å以下)場合には、アルミニウムの高い漏れ性によつて、アルミニウムが(001)Fe面を緻密に被覆し、Feの結晶面を反映して、(001)面を有するアルミニウム薄膜320が形成される。この事実は、蒸着後のアルミニウム表面のRHEED(反射高エネルギー電子回折)パターン観測によって確認され、アルミニウム薄膜320と鉄の(001)面の間に、極めて平坦な界面が得られたことが示された。その後、超高真空装置内に酸素ガスを導入すると、上記RHEEDパターンがアモルファス層の形成を示すパターンへと変化した。これには、図3(b)示したように、極めて平坦性の高いアルミナ層330が形成され、良好なトンネルバリア層と(001)Fe面の界面が得られたことを示している。なお、アルミニウムの酸化に伴い、その膜厚は10Å以

下から13Å以下に変化する。

【0017】一方、図4(a)に示したように、アルミニウムをより厚く(10Å以上)蒸着すると、アルミニウムの(001)面に加え、(111)面を生ずるいわゆるファセッティングが起こり、アルミニウム321の表面には小さな凹凸が生じた。この事実は、RHEEDパターンの変化によって確認された。超高真空装置内に酸素ガスを導入してもRHEEDパターンは完全なアモルファス状態を示すパターンにはならず、この凹凸は残存し、図4(b)に示したように、アルミニウムの酸化残りを包み込むような構造が形成され、凹凸を伴うアルミニナ層331が形成された。この状況では、(001)方向の波数ベクトルのみならず、(111)方向の波数ベクトルのトンネルの可能性が加わり、波数ベクトル選択性が弱まってしまう。したがって、単純にアルミニウム膜を酸化することで、13Å以上の厚さを有する十分な平坦性を持ったトンネルバリアの作製は困難である。

【0018】トンネルバリアの厚さを13Å以上に形成することは、TMR素子の特性制御の観点から無視できない要求である。そのため、図5に示すような方法を試みた。図5(a)及び(b)は、図3に示した方法で、13Å以下の厚みのアルミニナ層330を形成する過程を示している。次に、超高真空装置を再び排気してアルミニウム酸化のために導入した酸素を除去した後、再度、アルミニウムを10Å以下の厚さで蒸着して、アルミニウム層322を形成した状況が、模式的に図5(c)に示されている。この場合、図4に示したファセッティングは生じないが、アルミニウムのアルミニナ表面での濡れが不十分するために、アルミニウムの粒が発生し、より多結晶薄膜に近いアルミニウム層322が形成された。その後、酸素導入による酸化によってアルミニナ層332を形成したが、粒界に沿って酸化の度合いが異なり、STM/AFMを用いた測定などから、粒界に起因するビンホールの存在やトンネルバリア高さの不均一性をが発生し、良好なトンネルバリア特性が得られなかつた。

【0019】そこで、本発明では、図6に示したような「二段階酸化法」を開発した。図6(a), (b)は、図3と同様に、13Å以下の厚みのアルミニナ層330を形成する過程を示している。次に、図6(c)に示すように、超高真空装置を排気せずに一定の酸素分圧を保つて、アルミニウムを蒸着したところ、基板には図6(c)に示すように、アルミニナ層333が形成された。アルミニナ層330の上に同じ物質であるアルミニナ層333を形成するこの方法では、濡れ性の不完全性に起因する粒界の発生が抑えられ、極めて均質で平坦性に優れたトンネルバリア層が得られた。この方法によれば、均一性と平坦性を維持したまま、10Åから30Åの膜厚まで、良好なトンネルバリア特性が観測された。この方法には、原理的な厚みの上限は存在しない。

【0020】ところで、図6(a)及び(b)のプロセスを省いて、磁性体層211の表面の(001)Fe面を酸素雰囲気中に置き、図6(c)のようなアルミニナ層形成を行っても、良好なトンネルバリア層は得られない。なぜなら、アルミニナと(001)Fe面の濡れ性が悪いため、粒形成が生じるからである。したがって、予め図6(b)のような薄い(13Å以下)アルミニナ層330を形成しておくことが不可欠なのである。

【0021】図3の説明でも述べたように、10Å以下のアルミニウム膜厚であれば、ほとんどの磁性体層に対して、その種類や面方位によらず、常に良好なアルミニナ層330が形成できた。したがって、二段階酸化による方法は、任意の物質から任意の波数ベクトルを有する電子を取り出す本発明にとって最適かつ不可欠なトンネルバリア形成方法である。

【0022】例えば、図4の方法において、磁性体層211として、アルミニウムの(111)面に格子整合する表面を用いれば、アルミニウムは(001)面を形成せず、最初から(111)面を形成する。この場合にはファセッティングが起こらず、平坦なトンネルバリアが得られる。しかしながら、この方法では磁性体層211の結晶方位や種類が固定され、任意の異方性を選択できないため、本発明を実現する手段とはなり得ない。言い換えば、波数ベクトルの選択制を利用して任意の方向の波数ベクトルを有するトンネル電子を取り出そうとする本発明の実現には、上述の二段階酸化法が不可欠な手段である。

【0023】なお、上に説明した二段階酸化法においては、アルミニウムの酸化は超高真空装置に導入された酸素による自然酸化によって行ったが、これをUVオゾンや酸素プラズマによって生成される酸素ラジカルを含む雰囲気によって酸化を行うと、よりバリア高さの高いトンネルバリア層を形成することが出来た。これによって、トンネル磁気抵抗の変化は、自然酸化による場合の2倍程度に増加した。ここで述べた二段階酸化法は、平坦性を確保する方法であるが、同時に、原子寸法レベルで凹凸を除去したことによって、極薄膜の誘電体トンネルバリアを形成する方法であるということでもできる。この点は、TMR素子のトンネル抵抗の値自体を小さくしたい場合には特に有効である。また、トンネル抵抗の値を8桁にわたる範囲で、精度良く制御する方法としても有用である。

【0024】以上をまとめると、「二段階酸化法」とは、アルミニウムが主要な金属膜表面によく濡れる性質を利用し、10Å以下のアルミニウム膜を磁性体金属表面に形成してこれを自然酸化又は酸素ラジカルにより酸化する第一段階と、これに続く酸素雰囲気中又は酸素ラジカル中でのアルミニナ薄膜形成を行う第二段階からなる、アルミニナ薄膜形成法である。

【0025】以上述べたように、本発明によるトンネル

磁気抵抗効果素子は、第一の磁性体層と、トンネルバリア層と、第二の磁性体層とが順に積層された多層膜を備えるトンネル磁気抵抗効果素子において、第一の磁性体層は**b c c**構造を有する強磁性体であり、第一の磁性体層とトンネルバリア層との接合面が第一の磁性体層の(211)面又は(110)面であることを特徴とする。

【0026】**b c c**構造を有する強磁性体としては、鉄、鉄-コバルト合金、鉄-ニッケル、鉄-クロム、鉄-ロジウム、鉄-白金、鉄-バラジウム、鉄-イリジウム、鉄-バナジウム合金等を用いることができる。また、第二の磁性体層は、鉄、ニッケル、コバルト、又はこれらの合金とすることができる。本発明によるトンネル磁気抵抗効果素子は、また、基板上に、基板に近い方から、バッファ層、第一の磁性体層、トンネルバリア層、第二の磁性体層の順序で積層された多層膜を備えるトンネル磁気抵抗効果素子において、第一の磁性体層は**b c c**構造を有する強磁性体であり、第一の磁性体層と前記トンネルバリア層との接合面が第一の磁性体層の(211)面又は(110)面であることを特徴とする。

【0027】第一の磁性体層とトンネルバリア層との接合面が第一の磁性体層の(211)面であるとき、バッファ層としては、**h c p**構造を有するコバルト又はコバルト-クロム合金のA面、**b c c**構造を有するクロムの(211)面、**f c c**構造を有する金の(110)面、酸化マグネシウムの(110)面、サファイアの(11-20)面、又は**b c c**構造を有するチタンクロム合金の(001)面、あるいはこれらを二層以上組み合わせて積層した多層構造が適当である。

【0028】第一の磁性体層が単結晶であり、第一の磁性体層とトンネルバリア層との接合面が第一の磁性体層の(110)面であるとき、バッファ層としては、**b c c**構造を有するモリブデン(110)面、**b c c**構造を有するタンゲステン(110)面、又は**b c c**構造を有するタングタル(110)面、あるいはこれらを二層以上組み合わせて積層した多層構造が適当である。

【0029】第一の磁性体層が多結晶であり、第一の磁性体層とトンネルバリア層との接合面が第一の磁性体層の(110)面であるとき、バッファ層としては、**f c c**構造を有する金属の(111)面又は**h c p**構造を有する金属の(0001)面、あるいはこれらを二層以上組み合わせて積層した多層構造が適当である。第一の磁性体層とトンネルバリア層との接合面は、第一の磁性体層の(211)面又は(110)面から10度以内の傾きを有する結晶面であってもよい。

【0030】本発明によるトンネル磁気抵抗効果素子は、基板として半導体基板を用い、かつ、バッファ層と半導体基板の間に、シリコン酸化膜、アルミニウム酸化膜、又

は他の金属酸化膜の少なくとも一種類からなるアモルファス薄膜層を挿入した多層構造を有するものとすることができる。従来技術の項で述べたように、第一の磁性体層と第二の磁性体層の保磁力に差があることが、トンネル磁気抵抗効果の発現には不可欠である。そのため、各磁性体層の保磁力を独立に制御して、各自に必要な大きさの保磁力を実現しなければ、有効なトンネル磁気抵抗効果素子が得られない。通常は、磁性体の材料を選択することで必要な保磁力の差を実現するが、各磁性体材料の選択で有効な保磁力差が得られないときは、以下に述べるような方法がある。すなわち、第一の磁性体層により高い保磁力を付与したいときは、第一の磁性体層よりも高い保磁力を有する磁性体をバッファ層として用いればよい。また、第二の磁性体層により高い保磁力を付与したいときは、第二の磁性体層の上(すなわち、トンネルバリア層の反対側の第二の磁性体層面上)に、より高い保磁力を有する強磁性体層、または、反強磁性体層を積層すればよい。

【0031】本発明によるトンネル磁気抵抗効果素子は、磁気ヘッドに用いると好適である。本発明によるトンネル磁気抵抗効果素子は、また、マトリックス状に配列された複数のトンネル磁気抵抗効果素子と、各トンネル磁気抵抗効果素子に選択的に磁界を印加する手段と、各トンネル磁気抵抗効果素子の抵抗を選択的に検出する手段と含む磁性メモリの要素として用いると好適である。

【0032】本発明による磁気ヘッドの製造方法は、第一の磁性体層と、トンネルバリア層と、第二の磁性体層とが順に積層された多層膜を備える磁気ヘッドの製造方法において、第一の磁性体層として**b c c**構造を有する強磁性体を行い、第一の磁性体層の(211)面又は(110)面上に厚さ10Å以下のアルミニウム膜を形成し、前記アルミニウム膜を自然酸化又は酸素ラジカルにより酸化してアルミニウム酸化膜とし、酸素雰囲気中又は酸素ラジカル中で前記アルミニウム酸化膜の上にアルミニウム酸化膜を形成することによってトンネルバリア層を形成することを特徴とする。

【0033】本発明による磁性メモリの製造方法は、各々が第一の磁性体層と、トンネルバリア層と、第二の磁性体層とが順に積層された多層膜からなる複数のトンネル磁気抵抗効果素子と、各トンネル磁気抵抗効果素子に選択的に磁界を印加する手段と、各トンネル磁気抵抗効果素子の抵抗を選択的に検出する手段と含む磁性メモリの製造方法において、第一の磁性体層として**b c c**構造を有する強磁性体を行い、第一の磁性体層の(211)面又は(110)面上に厚さ10Å以下のアルミニウム膜を形成し、前記アルミニウム膜を自然酸化又は酸素ラジカルにより酸化してアルミニウム酸化膜とし、酸素雰囲気中又は酸素ラジカル中で前記アルミニウム酸化膜の上にアルミニウム酸化膜を形成することによってトン

ルバリア層を形成することを特徴とする。

#### [0034]

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態を説明する。

【実施例1】図7は、本発明によるTMR素子の一例を示す断面模式図である。図7に示したTMR素子では、Fe(211)面を有する磁性体層215からトンネルする、この面上に垂直な波数ベクトルの電子のみを用いている。トンネルバリア層310は前述の二段階酸化法によって形成され、その上に、(110)面を有するCoFe薄膜によって磁性体層115を形成した。この例では、Fe(211)面を有する磁性体層215を軟磁性体層とし、CoFe(110)面を有する磁性体層115を硬磁性層として、スピンドルバーピンを構成している。なお、軟磁性体層・硬磁性層という表現は比較上のものである。

【0035】Fe(211)面を有する磁性体層215は厚さ50Åとし、厚さ100Åの(211)面クロム(Cr)層252と厚さ500ÅのA面を有するhcp構造のCo層251を、この順で形成した二層からなるバッファ層の上に形成された。また、これら二層からなるバッファ層は、リード層415としての1000Å厚の(110)面を有する金(Au)層の上に形成されている。(110)面Au層(すなわちリード層415)は、(110)MgO面を有する基板515を用いることによって形成することができる。この構成は、バッファ層251、252、リード層415、及び基板515の組み合わせにより、磁性体層215の面方位の制御がなされた例である。

【0036】なお、hcp構造のCo層251は、Fe(211)面を有する磁性体層215の保磁力を決定する役割を持っている。hcp構造のCo層251の代わりに、非磁性体である(110)面の金を用いれば、Fe(211)面を持つ磁性体層215が成長でき、しかも、それに固有のより小さい保磁力を持つ軟磁性体層となる。また、反強磁性体を用いることによって、Fe磁性体層215の保磁力をより大きく設定することもできる。

【0037】図7に示したTMR素子構成を用いて、トンネルバリア層310の厚さが10Åから30Åの異なる厚さを有するTMR素子を多數作製して、トンネル抵抗及び外部磁場変化に対するトンネル抵抗の変化を測定した。その結果を図8に示す。図8の横軸は、TMR素子中のトンネルバリア層の厚さであり、縦軸は、トンネル抵抗の値を対数表示したものの値である。図中の黒点が、各デバイスごとの測定データを表す。測定は、室温で行われた。トンネルバリア層の厚さの異なる各試料に0.05ボルトの直流電圧を加えて電流を測定し、トンネル抵抗を求めた。トンネル抵抗はトンネルバリア層の厚さの増加に対して指数関数的に増加し、その値は6桁程度

変化した。トンネル抵抗がトンネルバリア層厚の変化に対して指数関数的に変化する関係は、電気伝導がトンネル現象によって生じていることを示しているため、二段階酸化法が、ピンホールが存在しない良好なトンネルバリア層を与えることの証拠である。

【0038】これらのTMR素子は、トンネルバリア層厚10Åから30Åの間で、その厚さとはほぼ無関係に、約6%のトンネル磁気抵抗の変化を示した。その測定結果を示したのが図9である。図9の横軸は、TMR素子中のトンネルバリア層の厚さであり、縦軸は、トンネル磁気抵抗効果(MR)をパーセントで表示したものである。図中の黒点が、各デバイスごとの測定データを表す。測定は、室温で行われた。トンネルバリア層の厚さの異なる各試料に0.05ボルトの直流電圧を加えて電流を測定し、トンネル抵抗を観測し、トンネル磁気抵抗を求めた。図9には、Fe(110)面及びFe

(100)面について、同様の測定を行った結果も示した。これらの結果から、磁性体層215の面方位依存性が確かに存在し、その効果によって、トンネル磁気抵抗が3倍以上の変化を示すことが明らかである。

【0039】本発明で得られた磁気抵抗変化の値は、磁性体層の異方性を考慮していない前記文献1に報告されている値の3倍の大きさとなっている。この事実は、磁性体層215の異方性を積極的に利用し、トンネルバリアの波数ベクトル選択性を利用して大きい分率を有する方向のトンネル電子のみを選択する本発明による方法の、有用性を実証したものと言える。

【0040】文献1では、トンネルバリア層の制御性が不十分であるため、TMR素子の端子間抵抗はキオ一ム程度の値とならざるを得ず、端子間抵抗を下げようとするトンネル磁気抵抗変化の著しい減少を招いた。また、H. Tsuge and T. Mitsuoka, Applied Physics Letters, Vol. 71, No. 22, 1997, pp. 3296-3298(文献6)では、端子間抵抗が小さいTMR素子の例が示されているが、このとき得られたトンネル磁気抵抗変化の大きさは、本発明で作製された同程度に小さい端子間抵抗を有するTMR素子のトンネル磁気抵抗変化の大きさの1/12程度であった。以上のように、本発明によるTMR素子では、トンネル磁気抵抗変化の大きさを損なうことなく、少なくとも100Ω/mm<sup>2</sup>から、100MΩ/mm<sup>2</sup>の範囲で端子間抵抗を制御することができる。この特徴は、低抵抗で動作することが要請されるTMR素子の磁気記録再生用ヘッドあるいは磁気メモリへの応用を考える上で重要である。

【0041】なお、本実施例と同様の効果は、基板515、リード層415、及びバッファ層251を(11-20)Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>面のサファイア(110)Ag、(110)Pt、MgO(110)等を用いて構成して得られる。さらに、上部磁性体層115として、a-C<sub>0.8</sub>F<sub>0.2</sub>BeSiなどのアモルファス磁性体、及びFe e

Ni等の強磁性体合金を用いることが可能である。

【0042】[実施例2] 実施例1における磁性体層215として、Fe(110)面を用いると、実施例1で得られるTMR素子に比べるとやや小さいMR値を有する、第二の実施例となるTMR素子が得られる。本実施例では、Fe(110)面を得るために、図2の断面模式図に示すように、基板510としてサファイア基板のA面を用い、その上にバッファ層250とリード線層410などを兼ねた(110)面を有するモリブデン層を形成し、これを直接のバッファ層として磁性体層210を形成した。

【0043】実施例1と同様に、トンネルバリア層310の厚さが10Åから30Åまでの異なる厚さを有するTMR素子を多数作製して、トンネル抵抗及び外部磁場変化に対するトンネル抵抗の変化を測定した。その結果は、図8に示したのと同様になった。二段階酸化法が、下地の面方位に関係なく、ピンホールが存在しない良好なトンネルバリア層を与えることが明らかとなった。

【0044】このTMR素子の、トンネルバリア層厚10Åから30Åの間での、トンネル磁気抵抗の変化を実施例1と同様にして測定した結果が、図9に示されている。図中で、白抜きの四角で(□)で示したものが、本実施例によるTMR素子の各デバイスごとの測定結果である。Fe(110)面を用いた本実施例によるTMR素子では、Fe(211)面を用いたものにやや劣るTMR値となるが、サファイア基板上に素子が作製できるようになる点など、用途によっては十分な有用性を持つている。

【0045】[実施例3] 図10は、本発明によるTMR素子の他の例を示す断面模式図である。図10に示したTMR素子は、バッファ層として用いたA面を有するhcp構造のCo層251の上に、Fe(211)面を有する磁性体層215を形成している。この点は、図7に示した実施例1と同じであるが、基板516としてSiを用いている点が異っている。本実施例では、(100)Si基板516の上にSiO<sub>2</sub>熱離化膜層416を作り、その上にリード線の役割も兼ねた(001)TiCr層を設けて、バッファ層255とし、上記バッファ層251に接続している。(001)TiCr層は、下地がアモルファスであるSiO<sub>2</sub>熱離化膜層416の上であってもエピタキシャル成長し、その成長面がFe(211)面を有する磁性体層215を成長させることに都合の良い面になるわけである。TMR素子を構成する(110)CoFe層115、Fe(211)面を有する磁性体層215、及び二段階酸化法によるトンネルバリア層310の組み合わせは実施例1と同じなので、作製されたTMR素子の動作特性は、実施例1の結果と同じであった。

【0046】本実施例は、本発明によるTMR素子をシリコン基板上に作製することが可能であることを示した

もので、磁気記録再生用ヘッドや磁気ランダムアクセスメモリ(MRAM)等を、従来のシリコン微細加工プロセスを用いて作製する道を開くものである。また、シリコン基板は、MgOやサファイアなどの誘電体基板に比べて良質の結晶が安価に購入でき、また、これらに比べて熱伝導率が大きいため、磁性体層の加工時に於ける熱的負荷が低減されたり、TMR素子の動作温度の制御が容易になる等のメリットがある。

【0047】[実施例4] 実施例3で述べた本発明のTMR素子を用い、磁気記録再生用ヘッドを作製した。磁気記録再生用ヘッドの構造を以下に示す。図11は、記録再生ヘッドの一部分を切断した場合の斜視図である。TMR素子51をシールド層52、53で挟んだ部分が再生ヘッドとして働き、コイル54を挟む下部磁極55、上部磁極56の部分が記録ヘッドとして働く。

【0048】図11において、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>・TiCを主成分とする焼結体をスライダ用の基板57として、その表面にスピッタ法にて、バッファ層としてのSiO<sub>2</sub>層形成し、続いて実施例3で述べたTMR素子を分子ビームエピタキシャル成長(MBE)法で作製した。シールド層、記録磁極にはスピッタリング法で形成したNi-20at%Fe合金を用いた。各磁性体層の膜厚は、以下のようとした。すなわち、上下のシールド層52、53は1μm、下部磁極55、上部磁極56は3μm、各層間のギャップ層としてはスピッタリングで形成したアルミニウムを用いた。ギャップ層の膜厚は、シールド層と磁気抵抗効果素子間で0.2μm、記録磁極間では0.4μmとした。さらに再生ヘッドと記録ヘッドの間隔は約4μmとし、このギャップもアルミニウムで形成した。コイル54には膜厚3μmのCuを使用した。本発明によってTMR素子の感度が向上したため、磁気ヘッドとしての感度も向上し、より小さな磁区の磁化状態を検出することが可能となり、從来に比較して記録密度を10倍程度向上することができた。

【0049】[実施例5] 図12から図15の製造工程図を用いて、本発明によるTMR素子を磁性メモリに適用した例について説明する。図12から図15の各製造工程図において、(a)は平面模式図、(b)はその断面模式図である。本実施例の磁性メモリは、IEEE Transaction on Magnetics, vol.33, No.6, November, 1997, p.4498-4512(文献7)に類似の構造を有する。

【0050】まず、図12に示すように、シリコン基板516上に、基板に近い方から、絶縁層416、ワード線層420、層間絶縁層417、バッファ層255、バッファ層251、軟磁性層216、トンネルバリア層311、硬磁性層116、コントакト層421を順次積層する。次に、図13に示すように、リソグラフィー工程によって、ワード線パターンを、ワード線層420及びそれより上の層すべてをエッチングして形成する。さらに、同様なリソグラフィー工程によって、Xリード線バ

ターンを、バッファ層255及びそれより上の層すべてをエッチングして形成する。

【0051】さらに、図14に示すように、リソグラフィーとエッチング工程を用いて、軟磁性層216以上の層を加工し、各ビット情報を格納するメモリセル部分を形成する。次に、図15に示すように、層間絶縁層418を形成して上記メモリセル部分を絶縁層内に埋め込み、その上部にコンタクトホールを形成する。この層間絶縁層418上に、上記コンタクトホールを通じて、コンタクト層421に電気的な接続を有するYリード線422を形成する。次に、さらなる層間絶縁層419を形成し、その上に、ビット線423を形成する。ワード線、ビット線、Xリード線、及び、Yリード線の各々を周辺回路に結合して、ランダムアクセスメモリを形成する。

【0052】本発明によるメモリは、メモリセルの部分に本発明によるTMR素子を用いる点と、その駆動方式が文献7の磁性メモリとは異なっている。上記メモリにおいて、軟磁性層216、トンネルバリア層311、硬磁性層116の三層が、スピンドルループを形成している。1ビットの情報は、軟磁性層216の磁化状態によって保持される。

【0053】図15において、アドレス(1, 1)の情報を探る決定する際には、ワード線W1にバイアス電流を流し、さらに、ビット線B1に同時に電流を流して、両者が発生する磁界の和がメモリセル中の軟磁性層215のスイッチング磁界より大きい磁界を、アドレス(1, 1)のメモリセル周囲にのみ発生させる。この磁界の向きによって、アドレス(1, 1)のメモリセルに書き込まれた情報の1又は0が決定される。書き込み動作時ににおいて、硬磁性層115の磁化は、そのスイッチング磁界が軟磁性層215のスイッチング磁界より十分大きく設定されているので、変化しない。また、ワード線W1のバイアス電流が発生する磁界のみでは、軟磁性層215の磁化は変化しないので、ワード線W1上の他のメモリセルの磁化状態を変化させることは無い。情報の読み出しは、Xリード線とYリード線の間の磁気抵抗を検出して行われる。すなわち、Xリード線X1とYリード線Y1との間の抵抗を測定すれば、アドレス(1, 1)のメモリセルの抵抗を検出することとなり、アドレス(1, 1)の情報が得られる。

【0054】本実施例では、絶縁層416としてシリコン熱酸化膜、ワード線層420としてニオブ(Nb)、層間絶縁層417としてスパッタで形成されたシリコン酸化膜、バッファ層255として(001)TiCr、バッファ層251としてhcp構造CoのA面、軟磁性層216として(211)面を有するFe、トンネルバリア層311として二段階酸化法によって作製した厚み1.2Åのアルミニウムンネル酸化膜、硬磁性層116としてCoFe、コンタクト層421としてニオブ(Nb)を用いた。なお、軟磁性層215の保磁力を制御するた

めに、異なる組成を有するCoFe合金などを用いることが有効である。本発明によってTMR素子の抵抗変化の大きさが向上したため、軟磁性層に情報を蓄えることが出来るようになり、メモリセル磁化状態の検出感度が向上し、その結果、従来より5倍程度高速な不揮発性磁性メモリが得られた。

#### 【0055】

【発明の効果】本発明によると、磁性体結晶の分極率に顕著な異方性が有る点に着目し、大きい分極率が期待される方向のトンネル電子のみをトンネルバリアの波数ベクトル選択性を利用して選択し、極めて大きいトンネル磁気抵抗の変化を実現した。これによって、トンネル磁気抵抗変化の値60%を実現し、TMR素子を用いる磁気センサーの感度は従来技術の3倍から10倍以上に向上了した。その結果、より高感度の磁気記録再生用ヘッドが得られ、磁気記録密度を従来の10倍程度向上することができる。また、このTMR素子を用いると、読み出し速度が従来の5倍以上である磁気メモリを得ることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】トンネル磁気抵抗効果素子の構成を示す図。

【図2】本発明によるトンネル磁気抵抗効果素子の構成例を示す断面模式図。

【図3】1.3Å以下の厚さを有するアルミニウム薄膜の形成法を示す図。

【図4】1.3Å以上の厚さを有するアルミニウム薄膜の形成時に、ファセッティングが生じることを示した図。

【図5】1.3Å以上の厚さを有するアルミニウム薄膜の形成時に生じる結晶粒により、アルミニウムの劣化が起こることを示した図。

【図6】二段階酸化法を用いた、1.3Å以上の厚さを有するアルミニウム薄膜の形成法を示した図。

【図7】本発明によるTMR素子の一例を示す断面模式図。

【図8】Fe(211)面を用いたTMR素子のトンネル抵抗とトンネルバリア厚の関係を示す図。

【図9】異なる面方位を有するTMR素子のトンネル磁気抵抗とトンネルバリア厚の関係を示す図。

【図10】本発明によるTMR素子の他の例を示す断面模式図。

【図11】本発明によるTMR素子を用いた磁気記録再生用ヘッドを示す図。

【図12】本発明によるTMR素子を用いた磁性メモリの製造工程図。

【図13】本発明によるTMR素子を用いた磁性メモリの製造工程図。

【図14】本発明によるTMR素子を用いた磁性メモリの製造工程図。

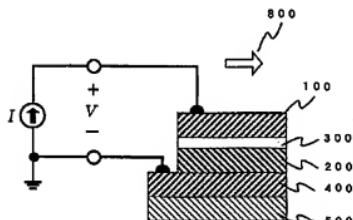
【図15】本発明によるTMR素子を用いた磁性メモリの製造工程図。

## 【符号の説明】

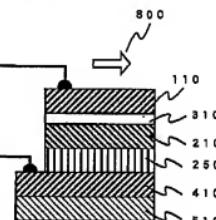
5 1…TMR素子、5 2…シールド層、5 3…シールド層、5 4…コイル、5 5…下部磁極、5 6…上部磁極、5 7…基板、1 0 0…第二の磁性体層、1 1 0…第二の磁性体層、1 1 6…硬磁性層、2 0 0…第一の磁性体層、2 1 0…第一の磁性体層、2 1 1…磁性体層、2 1 5…磁性体層、2 1 6…軟磁性層、2 5 1…バッファ層、2 5 2…バッファ層、2 5 0…バッファ層、2 5 5…リード線層、3 0 0…トンネルバリア層、3 1 0…トンネルバリア層、3 1 1…トンネルバリア層、3 2 0…

アルミニウム薄膜、3 2 2…アルミニウム層、3 3 0…アルミナ層、3 3 1…アルミナ層、3 3 3…アルミナ層、4 0 0…リード線層、4 1 0…リード線層、4 1 5…リード線層、4 1 6… $\text{SiO}_2$ 熱酸化膜層、4 1 7…層間絶縁層、4 1 8…層間絶縁層、4 1 9…層間絶縁層、4 2 0…ワード線層、4 2 1…コントラクト層、4 2 2…リード線、4 2 3…ピット線、5 0 0…基板、5 1 0…基板、5 1 5…基板、5 1 6…基板、8 0 0…外部磁界

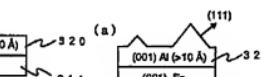
【図1】



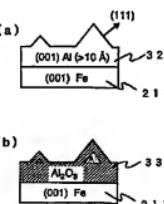
【図2】



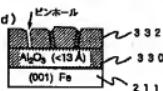
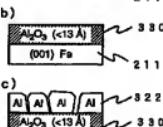
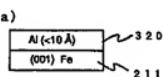
【図3】



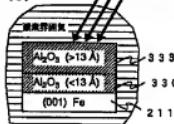
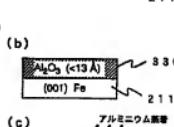
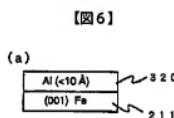
【図4】



【図5】

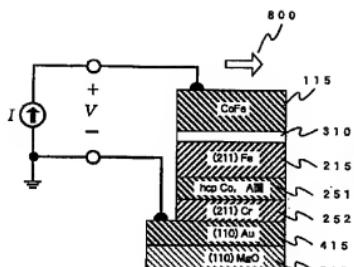


(d) ピンホール

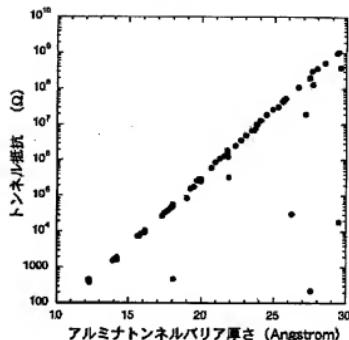


【図6】

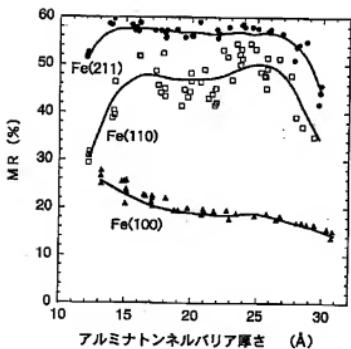
【図7】



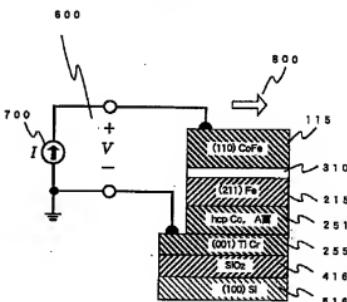
【図8】



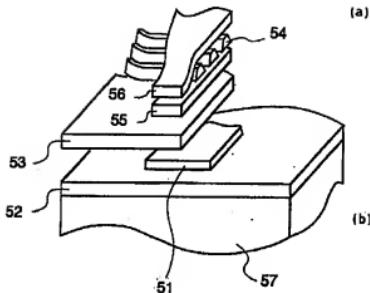
【図9】



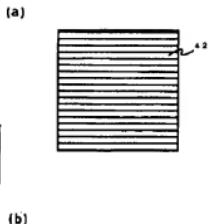
【図10】



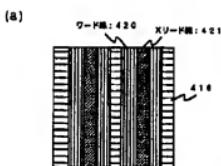
### 【図11】



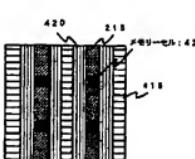
[图 1-3]



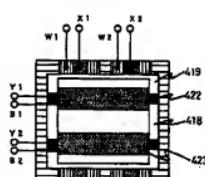
[图 1-3]



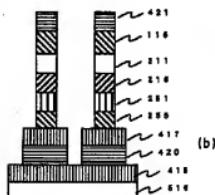
【图 1-4】



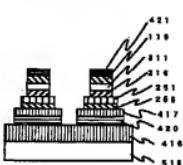
[图 1-5]



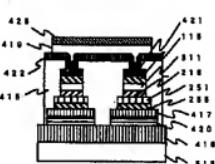
(б)



(b)



(b)



## フロントページの続き

(72) 発明者 湯浅 新治  
茨城県つくば市梅園1丁目1番4 工業技  
術院 電子技術総合研究所内

F ターム(参考) SD034 BA04 BA15 CA08 DA07  
SE049 AA01 AA04 AA09 AC00 AC05  
BA12